

流域圏水質保全に関する持続的産業構造の評価 「一農業投入構造と地域間交易の効果一」

木山 正一¹

¹正会員 京都大学助教 農学研究科地域環境科学専攻 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail:skiyama@hotmail.co.jp

農林水産業に起因する水質環境の汚染負荷は他産業に比べて無視できず、流域圏において農業による環境負荷の適切な管理法を検討することは重要である。流域圏の環境保全と経済成長の実現可能な好連動性を見出すため、産業部門間・地域間での水質汚濁物質排出量収支と産業構造を定量し、部門間・地域間相互依存メカニズムを解明した。このため地域間・部門間の経済・環境影響の波及性を考慮するための地域間産業連関モデルを作成、同モデルベースのCOD負荷量原単位を推計する。さらに環境保全型農業の産業間投入構造変化を定量し、その投入構造と地域間交易が流域圏環境効率と生産効率に与える効果について述べる。

Key Words: COD burden, environmentally conscious agriculture, inter-regional input-output tables, inter-regional trading, eco-efficiency

1. はじめに

地域資源の持続的な環境管理においては、社会経済と環境負荷の相互作用メカニズムを適切な地域規模で解明することが重要である。日本においては、高度成長期時代の農業基盤整備による農業労働・生産効率化と同時に商工業・都市部への労働者・人口流動が進み、均衡を欠いた地域発展、環境汚染、農村自然資源の粗放化といった複合的な社会環境問題を招き、その早急な解決が求められている。

以上の社会問題は農村と都市の関わりによるものであり、典型的に川を軸とした流域単位の問題に帰属すると考えられる。同時に水資源の局所的循環から流域圏の水環境管理問題と連関することによって経済と環境の総合的な流域管理法として解決する可能性があると思われる。

ところで流域水質改善に関する力学的アプローチとして、汚濁物質の水理・水文学モデルを用いるものが数多く報告されている^{1,2,3}。他方で産業間の財やサービス、物資のフローをリンクした経済学的環境影響評価モデルがある。Leontiefの環境分析用産業連関モデル⁴を頭頭に、最近ではLCI分析のための環境負荷原単位推定⁵、開発による大気汚染物質排出問題の環境影響評価⁶、産業連関表と環境動態力学モデルとの統合評価⁷、環境政策⁸、環境経済モデルの動学⁹と多岐研究に発展している。水環

境管理問題においても、地域産業連関表による開発と水質汚染負荷量の推定¹⁰、河川再生事業の地域経済効果¹¹、水質管理動学モデルの多目的計画¹²、GISを援用した水環境改善計画評価モデル¹³、広域水需要管理モデル¹⁴が報告されている。

本研究では、日本における農村地域が抱える都市部との経済格差と生産管理効率化が招いた過剰施肥による水質汚濁の改善のための取組みとして環境保全農業の実施が与える環境・経済影響評価を行なうことを目的とする。平成12年に決定した「食料・農業・農村基本計画」では環境保全を重視した農政実現への取組みが示され、関連する経営調査¹⁵や、直接支払い制度導入による環境保全型農業取組みが進められているところである。

環境保全農業経営への移行は、諸財と資源の動態を変化させ、生産財の投入構造と環境負荷物質排出経路に影響を及ぼすと考えられる。また基本的に流域内地形や経済構造は地域間で均一ではなく、こうした地域性を反映した経済・環境モデルを構築することが重要である。これまでに筆者は、農村地域は低い生産額と農業由来の高い水質汚濁排出量を示し、現状経済活動において負の環境効率¹⁶を示しうることを明らかにした¹⁸。これは経済・環境負荷量諸量を産業別に独立集計した結果から得られたもので、富栄養化抑制のための単純な地域分析が可能だが、環境保全と経済成長の相互作用メカニズムを

取り扱うのには不十分であった。そこで本研究ではこれまで明らかとした環境効率改善指標の地域性を考慮しながら、地域間経済と環境の総合評価を地域間産業連関表を推計することで試みた。また流域内の持続的な経済活動と水質保全管理のために地域間取引の果たす役割について流域管理戦略分析を通して述べる。

2. 地域間産業連関モデル

持続的な流域圏環境管理を検討するには、流域内小分割された各地域（市町村）間の生産財と環境負荷物質の量的収支を定量する必要がある。同時に環境政策の経済的波及効果を評価するには財の部門間、地域間の投入関係を予め定量する必要がある。産業連関表の適用が有効となろう。ここでは公表される都道府県ベースの地域産業連関表（生産者価格）から対象流域のチェネリー・モーズ型地域間産業連関モデル¹⁰⁾を推計、生産誘発分析を通じて流域内地域間の経済依存関係を明らかにする。

(1) 小分割地域産業連関表の推計

本研究の対象は淀川水系に属する桂川流域（京都府）で、流域面積1,159km²、流域内人口約175万人（2000年時点）を有する農山村地域と大都市域が近接する9市町村からなる（図-1）。はじめに2000年の府内92部門産業連関表をベースに37部門に統合し（表-1）、府内産業連関表諸量に表-1の按分指標を用いて流域内9市町村、その他府内地域の合計10地域の地域産業連関表を作成した。按分指標は項目別に独立分与した関係上、分割地域表の投入と産出の均衡（コントロールトータルズ）が成立しないため、この残差を小分割地域間の取引収支とみなしてノンサーベイテクニクであるRAS法^{13), 14), 15)}により需給バランスを保証する小分割地域産業連関表を推計した。

(2) 地域間産業連関表の作成

作成した地域産業連関表の府内地域間移入情報より地域間取引係数を求め、式(1)の需給関係で表される地域間非競争移入型産業連関表を作成した。

$$T \cdot A \cdot X + T \cdot F + E = X + M \quad (1)$$

ここで $T = [t_{ij}^{kl}]$: 地域間取引係数ブロック行列 (k : 地域, i : 部門), $A = [a_{ij}^l]$: 地域別投入係数ブロック行列 (j : 部門), $F = [f_j^l]$: 最終需要行列, $X = [x_j^l]$: 生産額行列, $E = [e_i^l]$: 輸出と府外移出行列, $M = [m_i^l] = M' \cdot \{(T \cdot A)^* + (T \cdot F)^*\}$: 輸入と府外移入行列を表す。また M' : M の地域別対角ブロック行列, $(\cdot)^*$ は自地域内取引のみで表される対角ブロック行列である。

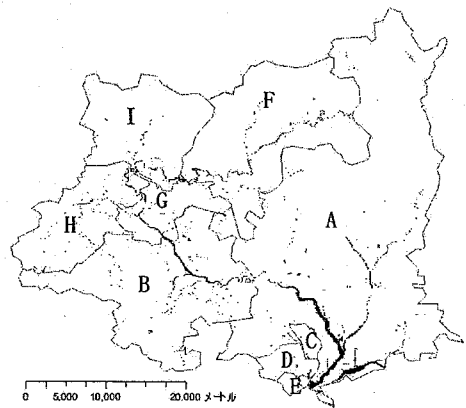


図-1 桂川流域市町村

表-1 部門分類と地域間表作成に用いた按分指標

No.	部門	按分指標	No.	部門	按分指標
1	農業	農業粗生産, a	20	建設	従業者数, b
2	林業	農業粗生産, a	21	電力	需要戸数, c
3	漁業	農業粗生産, a	22	ガス・熱供給	需要戸数, c
4	鉱業	従業者数, b	23	水道	排水処理量, d
5	食料品	出荷額, c	24	廃棄物処理	ゴミ排出量, e
6	繊維製品	出荷額, c	25	商業	販売額, c
7	パルプ・紙・木製品	出荷額, c	26	金融・保険	従業者数, b
8	出版・印刷	出荷額, c	27	不動産	従業者数, b
9	化学製品	出荷額, c	28	運輸	従業者数, b
10	石油・石炭製品	出荷額, c	29	通信・放送	従業者数, b
11	窯業・土石製品	出荷額, c	30	公務	従業者数, b
12	鉄鋼	出荷額, c	31	教育・研究	従業者数, b
13	非鉄金属	出荷額, c	32	医療・保健・社会保障	従業者数, b
14	金属製品	出荷額, c	33	その他の公共サービス	従業者数, b
15	一般機械	出荷額, c	34	対事業所サービス	従業者数, b
16	電気機械	出荷額, c	35	対個人サービス	従業者数, b
17	輸送機械	出荷額, c	36	事務用品	出荷額, f
18	精密機械	出荷額, c	37	分類不明	出荷額, f
19	その他の製造工業製品	出荷額, c			

注：按分指標欄内記号a-fは各データ引用元を表す
a: 2000年農林業センサス, b: 平成12年度事業所企業統計調査, c: 平成12年度京都府統計
d: 平成12年度地方公営企業年鑑下水道, e: 平成12年度一般廃棄物処理実態調査,
f: 平成12年度工業統計表

(3) 地域間生産誘発分析

最終需要と輸出情報が与えられると、式(1)から以下のように地域別部門別生産誘発額が求まる。

$$X = \left[I - \{ T \cdot A - M' (T \cdot A)^* \} \right]^{-1} \cdot \{ T \cdot F - M' (T \cdot F)^* + E \} \quad (2)$$

推計された地域間産業連関表から府内10地域の2000年最終需要に対する生産誘発分析を表-2に示す。表中の記号(AからI)は桂川流域内各市町村で、記号Jは桂川流域外地域を表す（市町村諸量は文献¹⁸⁾の記号と対応）。

縦列は各地域の輸入財を調整した全部門最終需要計に対する各地域別の全部門生産誘発額の比を表す。自地域内生産誘発係数が1を越える市町村は3つだけである。これは小分割化によって需要を自地域内で充足できない、あるいは生産部門をもたない地域が現れたためである。また、流域内外問わず下流大都市である地域Aによって各地の需要が大きく満たされる経済構造が示されている。

表-2 全部門の地域間生産誘発係数

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0.20754	0.34585	0.06108	0.40440	0.80925	0.48223	0.30549	0.52260	0.46327	0.45241
B	0.00066	0.89960	0.00027	0.03317	0.06757	0.00010	0.00112	0.00271	0.00015	0.02034
C	0.00037	0.00772	1.18713	0.00708	0.01786	0.01082	0.00485	0.01063	0.01070	0.01127
D	0.00992	0.00920	0.00976	0.83228	0.00263	0.00259	0.00087	0.00146	0.00937	0.00952
E	0.00657	0.01076	0.00097	0.00050	0.85486	0.00130	0.00055	0.00056	0.03270	0.01299
F	0.00028	0.00016	0.00037	0.00111	0.00186	0.82318	0.00029	0.00075	0.00003	0.00071
G	0.00144	0.00145	0.00212	0.00363	0.00691	0.00016	1.03880	0.00035	0.00008	0.00261
H	0.00256	0.00176	0.00371	0.00120	0.00242	0.00013	0.00003	0.74913	0.00013	0.00120
I	0.00017	0.00014	0.00016	0.00106	0.00177	0.00001	0.00023	0.00061	0.76594	0.00064
J	0.02711	0.05640	0.04273	0.01670	0.02044	0.01590	0.02843	0.01841	0.01520	0.72593
計	1.25661	1.33303	1.30829	1.30112	1.28566	1.33642	1.38065	1.30720	1.29755	1.23763

3. 産業連関表ベースのCOD環境負荷量推定

南齋らは社会における資源・廃棄物の循環分析を総合的に行うためには単独部門の直接環境負荷量だけでなく産業間物質フローによって移動排出される物質をも定量する必要性を示し、その定量法として産業連関表を用いた環境分析手法を開発している⁹⁾。ここでは同法に基づいて水質汚濁物質の一つであるCODに関する産業別地域別環境負荷原単位を推定し、現状生産における富栄養化誘発分析を行い、地域間産業間の水質汚濁負荷相互メカニズムを明らかにする。

(1) 推定法

部門の生産額は財の生産にかかる資源を多様な部門から調達し、付加価値を生むことで計上される。財の流れに従い将来汚染源となるかもしれない物質も物資と共に移動し、水質汚濁物質の排出は財に関する産業構造に依存した形で整理することができる。ここでは部門間に限らず、流域地域間の様でない産業構造を環境管理計画に反映させるために、地域間の交易構造も考慮する。その結果、地域産業部門の総環境負荷量は自地域他部門から排出される直接排出量と自地域他部門および他地域全部門からなる間接排出量の合計で表される。

$$e \cdot \{T \cdot A - M' \cdot (T \cdot A)^*\} \cdot X + d \cdot X = e \cdot X \quad (3)$$

ここで輸入による環境負荷量 $e \cdot M' \cdot (T \cdot A)^* \cdot X$ を控除した。 $d = \{d_j^k\}$ 、 $e = \{e_j^k\}$ は順に地域 k 部門 j の単位生産額あたり直接環境負荷量、環境負荷原単位である。ここでは最終排出量としての環境負荷原単位 e を式(3)から解いた。既知量 d は基本的に排出源別の直接発生量原単位に発生規模と非除去率を乗じて求めた直接排出量を生産額で除して与えられる。発生量原単位、発生規模、非除去率の算定では、地域の多様な排水処理現況を反映する必要がある。そのため公共下水道、農業集落排水処理、し尿処理、浄化槽処理、産業排水処理別の内訳実績値の

表-3 部門別の地域平均COD排出原単位諸等 (kg/百万円)

No.	<d>	<e>	No.	<d>	<e>
1	13.888	14.869	20	0.082	0.538
2	152.418	160.808	21	0.000	0.137
3	0.000	0.134	22	0.000	0.306
4	0.000	0.428	23	92.224	95.535
5	0.212	1.369	24	0.000	0.580
6	0.067	0.424	25	0.090	0.533
7	0.129	6.596	26	0.149	0.294
8	0.070	0.244	27	0.147	0.210
9	0.126	0.778	28	0.074	0.366
10	0.171	0.388	29	0.071	0.330
11	0.213	0.468	30	0.288	0.601
12	0.442	0.578	31	0.055	0.696
13	0.249	0.381	32	0.058	0.621
14	0.126	0.307	33	0.010	0.215
15	0.128	0.152	34	0.146	0.293
16	0.098	0.241	35	0.054	1.171
17	0.116	0.231	36	0.050	1.923
18	0.123	0.353	37	0.036	0.818
19	0.131	0.327			

和として地域別産業別直接発生量を推定した。これら諸量の具体的な推定手順や各種量については既往研究¹⁰⁾に詳述したため省略する。

(2) COD環境負荷原単位

推計された地域別部門別COD環境負荷原単位 e と直接環境負荷量 d について部門別の全地域平均値を表-3に示す。平均環境負荷原単位 $\langle e \rangle$ は直接量 $\langle d \rangle$ より大きくなるが、式(3)の収支関係から妥当な見解である。今回直接環境負荷量がないとした部門 (No. 3, 4, 21, 22, 24) でも非ゼロな環境負荷原単位が得られている。これは、当該部門生産活動による他部門投入の影響と考えられる。また直接環境負荷量を数十倍上回る環境負荷原単位が観測された部門 (No. 7, 33, 35, 36, 37) については、他部門投入の支配的な影響が示唆されるが、地域間IO表の推計精度にも依存することに注意する必要がある。

COD環境負荷原単位は大きい順に林業(部門2)、上下水道(部門23)、農業(部門1)となる。山林のCOD汚濁負荷量原単位には36.4kg/ha/年を用いたが²⁰⁾、国有林を含む全森林面積を考慮したため過大値となりうることに注意する。製造業は多い順に製紙パルプ業(部門7)、食料品(部門5)であるが全般に排出量は低めで、これは既往の産業排水処理施設能力と回収水利用効果と考えられる。

表-4 地域間COD排出誘発の量的関係 (kg/百万円)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0.56173	0.14355	0.01075	0.09714	0.18920	0.19533	0.16629	0.17075	0.20169	0.11204
B	0.01185	1.05773	0.00200	0.02935	0.03609	0.00042	0.01559	0.04236	0.00043	0.00961
C	0.00011	0.01458	0.57835	0.00274	0.00542	0.02197	0.02207	0.01444	0.02350	0.00432
D	0.00163	0.00184	0.00133	0.48283	0.00057	0.00071	0.00021	0.00031	0.00198	0.00148
E	0.00023	0.00363	0.00036	0.00016	0.35348	0.00526	0.00539	0.00306	0.00630	0.00057
F	0.02316	0.00094	0.00125	0.03535	0.03403	1.86131	0.00193	0.00532	0.00056	0.00144
G	0.00693	0.00158	0.00305	0.00947	0.01110	0.00022	1.51705	0.00040	0.00019	0.00166
H	0.01113	0.00360	0.00906	0.00778	0.00816	0.00031	0.00006	1.02443	0.00033	0.00081
I	0.01405	0.00063	0.00097	0.02081	0.01689	0.00031	0.00653	0.01787	1.46786	0.00081
J	0.14605	0.03553	0.04118	0.18610	0.16991	0.00786	0.03581	0.07920	0.00738	0.83943
計	0.77692	1.26362	0.64831	0.87174	0.82487	2.09370	1.77094	1.36812	1.71022	0.97217

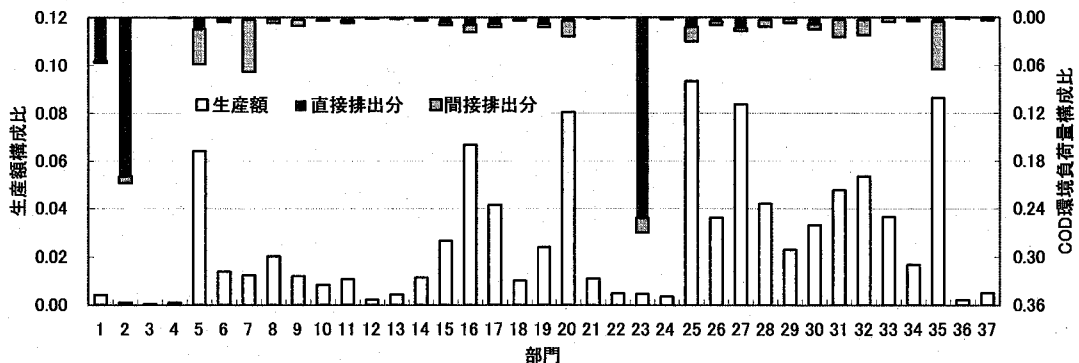


図-2 部門別環境排出量と生産額の構成

(3) 地域間COD負荷誘発

各地最終需要に対するCOD最終排出量比の地域間依存性を表-4に示す。同表の地域間COD排出誘発値の対角値(網掛け部分)をみると、自地域内単位COD排出量が農村振興地域 B, F, G, H, Iでは大きく、工業の盛んな都市A, C, D, Eで小さい量となっている。またCOD排出量の地域依存性は基本的に地域間生産誘発構造と類似し、大都市Aに依存することがわかる。

(4) 排出量の波及影響

図-2は府内部門別のCOD直接排出量と間接排出の構成比と生産額構成比を示している。富栄養化に大きく寄与する産業としては上下水道、林業、製紙パルプ業、食品、対個人サービス、農業があげられる。直接排出量では上下水道、林業、農業の順に大きい。間接排出量では製造業、サービス業も無視できない。例えば食料品部門では農業からの投入量が無視できない。このように全37部門のうち他部門からの投入により直接排出量を越える間接排出量が見込まれる部門は17部門にも及び、環境負荷の波及元である物資移動の定量は重要である。

また林業、上下水道、農業のように直接排出量の大きな部門の生産額構成比は小さい現状にある。これは

該当部門のさらなる水質汚濁の環境保全により、他部門みられる大きな経済成長が期待されないことを表す。しかし、むしろ地域生産額に寄与の小さな業種における環境保全効率の改善が今後の重要課題になることが示唆される。

4. 環境保全型農業の流域圏環境効率改善性

農業が水質汚濁物質排出量を占める割合は高く、殊に部門間でも生産額あたりの排出量が非常に大きいことは先に示した通りである。この課題への可能な取組みとして稲作環境保全型農業を取り上げ、施業による財の投入構造と粗付加価値の変化が地域間あるいは部門間の生産誘発に与える影響を分析する。また地域の経済と環境保全に好循環をもたらす流域内交易法についても考察する。

(1) 稲作栽培法の現状

農林水産省は農家が生産活動に使用する化学肥料や農薬の使用を減じる環境保全農業に取組む農家の経営収支等を調査し、稲作について報告書を作成している¹⁰⁾。慣行栽培に対し、環境保全農業は化学肥料や農薬の量的使用率(50%以上削減や無使用)およびその継続年数に応じて4種

類(無農薬・無化学肥料栽培(その内3年以上同法継続を有機栽培)、無農薬栽培、無化学肥料栽培、減農薬又は減化学肥料栽培(農薬、化学肥料のいずれかが50%以上削減)に区分している。詳しくは文献¹⁰⁾に譲る。

COD地表排出量については、施肥量やその種類、代かき回数等の構成によって各稲作栽培法に関するCOD地表排出量試験値(滋賀県農業技術センター¹¹⁾)が報告されている。厳密に環境保全農業の定義と同条件ではないが、主たるCOD地表排出量が化学肥料に由来すると仮定すると、各栽培法について単位耕地面積当たりの粗収益とCOD地表排出量の関係として図-3が得られる。減農薬・減化学肥料栽培法は収益の大幅増とならないが慣行栽培に比べてCOD地表排出量を大幅に削減できることがわかる。一方で有機肥料を用いた栽培法では大幅な収益増を見込まれるが、栽培管理法を改良しない限りは富栄養化を助長する恐れがある。環境保全型農業としての技術的課題が挙げられる。

これら各栽培法の現状構成比は各種環境保全型農業への取組み農家数構成比(2000年農業センサス)から、有機栽培:減農薬減化学肥料栽培:慣行栽培 = 0.013 : 0.142 : 0.845と推定される(他の栽培法については0.0002未満)。2000年時の稲作農業の平均的な粗収益とCOD地表排出量は、推定された栽培法別栽培取組構成比と栽培法別粗収益、COD地表排水量の積の総和として推定され、図-3の□印が得られる。以上から環境保全型農業と定義される栽培法においては、その排水管理に依存して水質負荷が軽減されない場合があることに注意すべきである。同時にいかなる環境保全型農業においても圃場からの排水による水質負荷を軽減可能とする管理技術が求められるだろう。ここでは現状流域の水質を改善する稲作法を考えると減農薬・減化学肥料栽培への移行が期待されるだろう。

(2) 環境保全農業による投入構造の推計

環境保全型農業の導入は、単なる物質投入量の変化(例えば有機肥料使用量の増加や農薬の減量)だけでなく、代掻き回数や除草作業といった人為的管理法の変化に関連する多様な部門の投入構造に影響を与える。例えば有機肥料使用においては事業主自身による自給的投入(小分類の耕種農業)と製品購入(小分類の飼料・有機質肥料、35部門大分類の食品)が考えられる。このように営農経費区分が複数の産業分類項目に属する場合、産業連関表に示される当該産業分類項目の投入額の構成比を営農経費に乗じて大分類部門の投入額とした。以上の仮定に基づき環境保全型農業経営調査資料の全国平均値を使用し、表-5に示す分類に従って稲作栽培方法別の単位投入額を表-6のように推計した。

環境保全型農業の導入は有機肥料への移行、化学肥料や農薬の使用控えを進めると考えられ、結果として食料品部

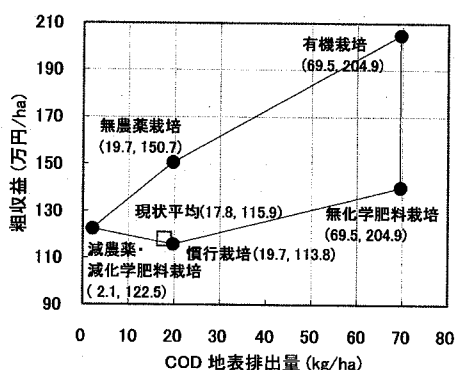


図-3 稲作栽培法別粗収益とCOD地表排出量の関係

門の投入増額、化学工業部門の投入減額を得る。また減農薬・減化学肥料栽培を除く他環境保全農業栽培法ではその他製造業、サービス業全般にわたり大幅な投入増が見込まれる。特に無農薬・無化学肥料栽培では顕著である。また表-6の粗付加価値および構成部門値から、農家の収益効果は4種の環境保全型稲作農業いずれにおいても相当向上していることがわかる。

(3) 農法変化による流域内生産・環境負荷応答

稲作は農業部門の一部に過ぎないが、代掻きなど濁水が懸念され環境保全効果が期待される。ここでは以下の稲作栽培法への取組みを仮定し、対応する投入変化額を農業部門の現投入額に付加することで簡便に保全効果がもたらす生産誘発効果ならびに環境負荷応答を分析する。環境保全型農業として現在比較的实施されている減農薬・減化学肥料栽培に着目し、現慣行栽培5割分の減農薬・減化学肥料栽培への転換を仮定する。

a) 分析法

農業部門への中間投入額および粗付加価値額について、各種稲作農法の変化率に応じた変化額を現在値に加算、農業部門の投入係数を更新する。また環境保全農業では耕地面積あたりの粗収益が増加する反面、除草、病虫害対策、水管理にかかる労働増、単収の落ち込みと施業面での困難さがある。殊に有機栽培においては労働時間が倍増する¹⁰⁾。こうした中、資源保全直接支払い制が事業主の環境保全型農業への移行を促進する制度としてあげられる。分析では環境保全型農業を実施するにあたり補助金5000円/10aを設定した。

これにより地域間産業連関表の行と列の各生産額に差が生じる。農業部門においては、投入列の生産額は表-6より確定するので、行方向に残差の修正が必要である。ここでは地域間交易係数に従い最終需要と移入

量に残差を分配し、分配分を項目別に加算修正することで、行の生産額と列値を整合させた。他の部門の投入構造は現状を保つと考えられるので、投入係数・地域間交易・最終需要・輸出入は不変とした。以上から農法変化による誘発生産額と環境負荷量を求めた。

b) 現交易による経済・環境排出応答

表-7は環境保全型農業がもたらす流域内の生産額とCOD排出量の変化を農業部門と主要な製造業部門について示している。流域内全部門と農業部門において生産額の増加とCODの大幅な排出削減がみとれる。主な製造業の生産額は僅かに減少している。この生産額の減少は農法変化に伴い、従来比を超える粗付加価値増が発生、農業部門への投入係数値が減じたためと考えられる。環境負荷量の変化についてみると、食料品部門は農産物の投入による間接的な環境負荷を大幅に削減している。また化学工業については、製造過程での汚濁物質の廃棄物排出量が少ないため環境排出量は微減で、また生産額も農業による化学肥料の削減自体だけでは大きなダメージを受けないことがわかる。

次に環境保全型農業による環境効率改善挙動について考察する。生産活動に対する環境負荷量発生率の事後の評価指標として環境効率改善指標がある¹⁷⁾。

$$\text{環境効率改善指標} = 100 \left\{ 1 - \frac{(EP/DP)_{\text{期末}}}{(EP/DP)_{\text{期首}}} \right\} \quad (4)$$

ここでDPは経済的駆動力で市町村別総生産から帰属環境費用を控除した環境調整済総生産に相当する。EPは富栄養化ポテンシャルを表す。ここではCODに関して定量化ファクター $NP_{\text{COD}} = 0.022$ と最終排出量の積で与える⁽²⁰⁾。本指標は正のとき環境効率が改善、負のとき悪化を表す。

流域内市町村毎に計上した流域内環境効率改善指標の総和を求めると、 $(EP/DP)_{\text{期首}} = 0.8414$ 、 $(EP/DP)_{\text{期末}} = 0.8181$ となり、農法変化によって2.76%の環境効率改善が見込まれることが判明した。このときの生産額変化率は0.00011%(農業部門単独で0.09%)、環境負荷量削減率は1.13%(農業部門単独で14.9%)である。農業部門の一分野に過ぎない稲作の環境保全型農業は、その適切な施業によって零細な経済成長ではあるものの水質に関して環境効率を改善し、持続的な開発のための環境政策となりうるということが示された。

c) 流域環境効率改善のための交易計画

環境保全型農業に伴う流域圏レベルの環境効率の改善と経済成長を総合的に計画するには、その投入構造変化に限らず地域間交易の効率化も重要である。これは流域内の生産額と環境負荷量は式(2)、(3)で示したように投入構造と地域間交易に依存するためである。ここ

表-5 営農経費の産業連関表対応部門

営農経費区分	部門・粗付加価値
種苗費	農業(1)
光熱動力費	石油・石炭製造(0.83)、電気(0.1742)
農機具費・農用建物	購入修繕：対事業所サービス(1)、減価償却：資本減耗引当(1)
土地改良・水利費	農業(0.82)、水道(0.01)、公共サービス(0.16)、事業所サービス(0.01)
諸材料	繊維(0.37)、パルプ(0.11)、窯業土石(0.29)、金属(0.23)
賃借料・料金	農業(0.73)、対事業所サービス(0.27)
支払小作料	農業(1)
物件税・公課諸負担	間接税(1)
負債利子	金融(1)
販売経費	商業(0.38)、金融(0.50)、運輸(0.12)
企画管理費	農業(1)
雑支出	事務用品(0.01)、分類不明(0.99)
化学肥料	化学製品(1)
有機質肥料	農業(0.5)、食料品(0.5)
農業薬剤	化学製品(1)

()内数字は部門別投入量から得た構成比

表-6 稲作栽培法別の単位投入額と粗付加価値額

		(単位:円/10a)				
No.	部門	慣行栽培	減農薬・減化学肥料栽培	無化学肥料栽培	無農薬栽培	無農薬・無化学肥料栽培
1	農業	15,461	15,282	13,459	15,057	20,518
5	食料品	0	2,127	7,346	6,176	10,775
6	繊維製品	1,061	1,118	1,711	2,337	4,492
7	パルプ・紙・木製品	302	318	486	664	1,276
9	化学製品	16,659	9,961	4,530	4,866	0
10	石油・石炭製品	3,181	3,149	4,159	3,255	3,126
11	窯業・土石製品	839	884	1,353	1,848	3,552
14	金属製品	652	686	1,050	1,435	2,758
16	電気機械	3	3	4	3	3
17	輸送機械	3	3	5	6	12
18	精密機械	1	2	2	3	6
19	その他の製造工業製品	13	14	22	30	57
20	建設	1,232	1,412	1,530	958	1,472
21	電力	672	665	878	687	660
25	商業	594	588	1,451	1,514	2,289
26	金融・保険	2,105	2,089	4,616	4,047	4,366
27	不動産	3	3	2	3	2
28	運輸	197	195	482	503	754
31	教育研究	1	1	1	1	2
32	対事業所サービス	10,331	9,946	9,537	10,848	8,452
36	事務用品	7	7	9	5	12
37	分類不明	2,845	2,620	3,498	1,869	4,651
	雇用者所得	7,812	7,652	8,231	6,746	11,991
	営業余剰	29,570	41,073	38,700	48,288	64,870
	資本減耗引当	17,461	17,421	30,868	32,933	28,796
	間接税	4,935	5,272	6,193	6,565	5,487
	粗付加価値	59,778	71,418	83,992	94,532	111,144

では2つの戦略目標：環境効率改善優先計画（目的関数として流域環境効率改善指標を最大化）、生産拡大優先計画（目的関数として流域生産額を最大化）を設定しそれぞれの計画による環境負荷と生産額パフォーマンスを比較考察する。

以下に計算方法を述べる。各戦略の目的関数を最適化するための決定変数として部門別地域間交易量に関する分担比を与える。この地域分担比に応じて、農業部門の投入係数と地域間交易係数が定まる。暫定的な分担比に基づき生産額とCOD負荷量を繰り返し計算して目的を満足する最適分担比を求める。ここでは最適化計算には乗数法を適用した。各戦略の目的関数と部門別交易分担比の総和が1という制約条件にペナル

ティ項を組み込んだ拡張ラグランジュ関数を最小化する問題である。また農法変化による投入額変化が見込まれる部門数が非常に多いため、ここでは環境排出量と投入額の変化が比較的大きい食料品、化学工業、事業所サービス部門についての交易最適化を試みた。

表-8 は稲作栽培法変更時の戦略別流域内生産額と環境排出の変化量を示している。両戦略共に最適な交易として各地の投入量変化分取引を一地域に集約する傾向が見られる。両戦略共に農業、食料品部門において生産額を伸ばしている。しかし環境効率優先戦略はCOD 排出削減量を最大にする一方、流域内総生産額を減じ経済活動縮小型の流域管理であることがわかる。

一方、生産拡大戦略は現状交易時を上回る排出量削減を実現、かつ最大の生産額を生み出している(現行交易時の 5.25 倍)。また環境効率改善指標は環境効率改善戦略で 2.86%、生産拡大戦略で 2.84%となり共に現行交易時(2.76%)を上回る改善性能を示した。以上から地域間交易の効率化を考慮した生産拡大戦略は、環境保全農業の実施による経済成長と環境改善を最大限生かしたものになりうると考えられる。

5. おわりに

流域内地域間産業連関表から単流域水質保全管理モデルを作成し、現況水質汚濁物質排出と経済生産活動の部門別地域別相互メカニズムを明らかにした。また COD 負荷に大きなインパクトをもたらす農業部門の環境保全政策が流域内環境効率改善に与える影響を定量した。同時に現行交易の見直しによって環境効率と経済生産向上を与える流域水環境管理が可能なことを示した。ただし本論文では農法変化による小さな投入構造変化に限定して、流域内地域交易によって流域の持続的な開発と保全に役立てる分析手法の一方向性を示したに過ぎない。

しかし本論文で示した流域を一境界とする水環境保全と生産財のマネジメント法では、市町村地域間産業連関表を取得可能な統計データにより推計し、農山村、大都市地域の環境負荷・経済構造特徴、それらの地域間依存構造を顕在化させた。これは小地域レベルの環境保全技術構造や需要変化に対する流域内環境・経済応答の感度解析を可能にするもので、同手法は他流域の環境評価手法としても適用できると考えられる。

一方で実際の生産活動は流域内に留まらず、対外地域との交易計画も重要になる。今後は流域間交易計画ベースの環境管理計画法を検討することが課題になる。

これまで環境保全型農業(稲作)はその適切な施策

表-7 環境保全農業が誘発する流域内生産額と環境負荷応答

部門	1	5	7	9	1-37
	農業	食料品	パルプ紙	化学工業	全部門
生産変化額(万円)	2,325	-17	-24	-44	1,321
環境排出変化量(ton)	-44.43	-34.59	-0.02	-0.06	-94.00
現生産額(百万円)	25,669	636,272	120,342	123,842	12,273,222
現排出量(ton)	298	374	522	76	8,304

表-8 交易の戦略別最適化による経済・環境排出応答

戦略	部門	1	5	9	34	1-37
		農業	食料品	化学工業	対外サービス	全部門
環境効率優先	生産変化額(万円)	9,391	3,169	-10,447	-317	-2,926
	環境排出変化量(ton)	-45.00	-36.02	-0.16	-0.02	-96.66
生産拡大	生産変化額(万円)	7,872	3,250	-3,303	-148	6,933
	環境排出変化量(ton)	-44.15	-35.53	-0.10	-0.01	-94.98
	交易先地域		H	D	E	
	交易先地域		H	B	A	

によって水質改善と農家経済の収益向上が期待されることを示した。しかし同時に労働の増加や農家数の減少といった農村社会が抱える社会問題に補助金政策がどれだけ効果を発揮しうなのか、生産性や労働コストを鑑みた圃場排水管理技術の向上が可能なのか、さらには、いかなる流域管理計画によって上記社会問題を打開しうのか検討する必要があるだろう。いずれも就農、営農行動に対するインセンティブを高める必要があると思われるが、今後は産業別就業人口動態に配慮したモデルへ発展することも重要であろう。

参考文献

- 1) 和田彦彦, 三浦浩之: 分流水下道の雨水流出に伴う汚濁負荷流出モデルとその適用, 土木学会論文集, 369, II-5, 1986.
- 2) 海老瀬潜一, 宗宮 功, 平野良雄: タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析, 用水と排水, 21, 1422-1432, 1979.
- 3) 丸山利輔, 富田正彦, 小林慎太郎: 複合タンクモデルによる広域農業用水需要解析, 農業土木学会, 47, 2, 1979.
- 4) Leontief, Wassily: Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach. *Reviews of Economics and Statistics*, 52(3), pp.241-260, 1970.
- 5) Nansai, Keisuke, Moriguchi Yuichi and Susumu, Tohno: Embodied energy and emission intensity data for Japan using input-output tables (3EID); Inventory data for LCA, National Institute for Environmental Studies, <http://www-cger.nics.go.jp/>, 2002.
- 6) Hayami, Hitoshi and Takayuki Kiji: An input-output analysis on Japan-China environmental problem: Compilation of the input-output table for the analysis of energy and air pollutions. *Journal of Applied Input-Output Analysis*, 4, pp.23-47, 1997.
- 7) Thomas Wiedmann, Manfred Lenzen, Karen Turner and John Barrett: Examining the global environmental impact of regional consumption activities - Part2: Revises of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, 60(1), pp.15-26, 2007.
- 8) David James and John Chambers: Managing environmental impacts of energy development: Air quality in the Hunter region, New South Wales

- Australia. *Environmental Management*, 10(3), pp.421-430, 1986.
- 9) Guo H. Huang, William P. Anderson and Brian W. Bastz: Environmental input-output analysis and its application to regional solid -waster management planning. *Journal of Environmental Management*, 42(1), pp.63-79, 1994.
 - 10) Tomohiro Okadera, Masataka Watanabe and Kaiqin Xu: Analysis of water demand and water pollution discharge using a regional input-output table: An application to the city of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China. *Ecological economics*, 58(2), pp.221-237, 2006.
 - 11) C. Sporti, M. Borsuk, I. Peters and P. Reichert: The economic impacts of river rehabilitation: A regional input-output analysis. *Ecological Economics*, 2006.
 - 12) J. R. Ni, D. S. Zhong, Y. F. Huang and H. Wang: Total waster-load control and allocation based on input-output analysis for Shenzhen, South China. *Journal of Environmental Management*, 61(1), pp.37-49, 2001.
 - 13) 高木朗義, 篠田成郎, 西川薫, 松田尚志, 片桐猛, 永田貴子: 流域GISを援用した総合環境評価モデルによる水環境改善施策の効果分析, 環境システム研究論文集, 34, pp.553-561, 2006.
 - 14) 岡寺智大, 藤田荘, 渡辺正孝, 鈴木陽太: 流域管理のための環境負荷排出インベントリーシステムに関する研究; 東京湾流域の水需要のケーススタディ, 環境システム研究論文集, 33, pp.377-388, 2005.
 - 15) Stone, R. and A. Brown: A computable model of economic growth, Vol. 1, Programme for Growth. Chapman and Hall, London, 1962.
 - 16) 農林水産省統計部: 環境保全型農業(稲作)推進農家の経営分析調査報告, 2004.
 - 17) 経済企画庁経済研究所: 国際連合「国民経済計算ハンドブック 環境・経済統合勘定」, 1995.
 - 18) 木山正一: 環境・経済統合勘定を適用した流域水環境実態把握と将来型管理計画への一考察, 環境システム研究論文集, 34, pp.537-544, 2006.
 - 19) Moses, L.N.: The stability of inter-regional trading patterns and input-output analysis. *American Economic Review*, 45(5), pp.803-832, 1955.
 - 20) 日本下水道協会: 流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説, 1999.
 - 21) 水稻栽培における有機質肥料の側条施肥技術と水質への影響, 滋賀県農業技術振興センター研究報告書, 2005.
 - 22) R. Heijungs, J. Guinée, G. Huppes, R. M. Lankreijer, H.A. de Haes, A. Wegener, A. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin, H. P. Goede, *Environmental life cycle assessment of products: Guide and backgrounds* CML, Leiden University, Leiden, The Netherlands, 2002.

ASSESSMENT OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL STRUCTURE IN WATERSHED WATER QUALITY MANAGEMENT: EFFECTS OF AGRICULTURAL INPUT STRUCTURE AND INTER-REGIONAL TRADING

Shoichi KIYAMA

This study is made to consider the suitable management on the watershed based agricultural environmental loading which is not negligible compared with others sectors. In order to find out feasible linkage of economic development and environmental conservation in the watershed level, we quantify migration pathways of water pollutant and production inducement in sectoral, regional scales, to resolve their inter-sectoral and inter-regional interactions. Therefore watershed based inter-regional input-output tables are estimated and the embodied COD emission intensity is calculated. Furthermore we examine input structure change accompanied by environmentally conscious rice agriculture and discuss its effect and the significance of inter-regional trading on the watershed eco-efficiency and goods production.